

TDD 移动通信系统技术浅析与展望

陈义成, 黄联芬

(厦门大学 通信与信息系统 福建 厦门 361000)

摘要: TDD 模式移动通信系统相对于 FDD 系统有着独特的优势, 如支持不对称业务, 高频谱利用率, 设备复杂度低。在介绍 TDD 移动通信系统特点的基础上, 针对当前出现的新技术, 如 MIMO、智能天线、Ad hoc、自适应调制技术 TD-LAS-CDMA 等, 结合 TDD 移动通信系统的特点, 分析了各技术在实际系统应用中的优缺点, 最后展望在该模式下移动通信系统的发展前景。

关键词: OFDM; MIMO; Pre-Rake; 智能天线; AMC; IPv6; Ad hoc; TD-LAS-CDMA

中图分类号: TN914

文献标识码: B

文章编号: 1004-373X(2007)10-192-03

The Analysis and Prospect of TDD Mobile Communication System

CHE Yicheng, HUANG Lianfen

(Communication and Information System, Xiamen University, Xiamen, 361000, China)

Abstract: The mobile communication system of TDD mode has unique advantages, such as providing asymmetry service, high spectrum utilization, and low complexity of devices. On the basis of introducing the system characteristic, the advantages and disadvantages of the new technologies according to the TDD system, such as MIMO, smart antenna, Ad hoc, AMC, TD-LAS-CDMA, are analyzed in the paper. At last discusses the prospect of the TDD system.

Keywords: OFDM; MIMO; Pre-Rake; smart antenna; AMC; IPv6; Ad hoc; TD-LAS-CDMA

1 引言

基于 TDD 模式的 3G 系统在中国获得巨大的发展, 相对于 CDMA2000, WCDMA 系统, TD-SCDMA 系统有着独特的优势, 如: 不需要对称的频谱资源且利用率高, 支持不对称业务和利用信道的上下行互惠性获得高效的信道估计, 射频收发部分可公用可降低系统的复杂度等。所以对 B3G 系统来说 TDD 模式非常具有吸引力。但目前 TDD 模式仍然存在不少问题, 为了满足未来通信高速率、高质量、无缝接入等要求, 推出了一些新技术。

2 关键技术分析

2.1 正交频分复用 (OFDM) 调制技术

如果传输数据速率达到 100 Mb/s, 目前的 TDD 系统会因为多径衰落会产生严重的多址干扰 (MAI) 和符号间干扰 (ISI)。采用 OFDM 技术可有效地解决这些问题。OFDM 基本原理是把高速的数据流通过串并转换, 分配到传输速率相对较低的若干子信道中进行传输。子信道是相互正交且相邻的相互重叠的, 如图 1 所示。

一个 OFDM 符号之内包括多个经过调制的子载波的合成信号, 其中每个子载波都可以受到 PSK 或者 QAM 符

号的调制。通常采用复等效基带信号来描述 OFDM 的输出信号。

$$x(t) = \frac{1}{N_c} \sum_{k=0}^{N_c-1} S_k \exp(j2\pi \frac{kf_s}{N_c} t), 0 \leq t \leq T_1 \quad (1)$$

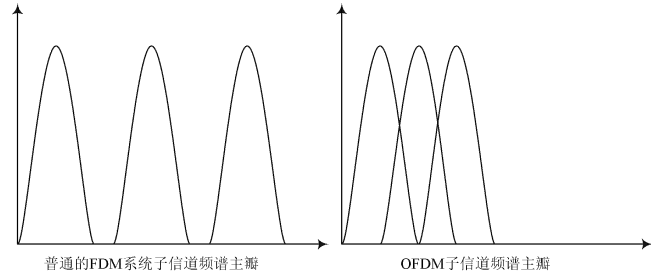


图 1 OFDM 与 FDM 系统子信道频谱比较

其中基带信号带宽所使用的物理带宽为 f_s , S_k 表示待发送的频域序列, N_c 等价于子信道个数。

$$N_c = f_s / \frac{1}{T_1} \quad (2)$$

对于 N_c 比较大的系统, 可以采用离散傅里叶逆变换 (IDFT) 方法实现。式 (1) 等价于式 (3):

$$x(n) = \frac{1}{N_c} \sum_{k=0}^{N_c-1} S_k \exp(j2\pi \frac{kn}{N_c}), \quad n = 0, 1, \dots, N_c - 1 \quad (3)$$

则接收端通过 DFT 获得 S_k , 如式 (4) 所示:

$$S_k = \frac{1}{N_c} \sum_{n=0}^{N_c-1} x(n) \exp(-j2\pi \frac{kn}{N_c}),$$

$$k = 0, 1, \dots, N_c - 1 \quad (4)$$

OFDM 系统通常采用实现框图如图 2 所示。

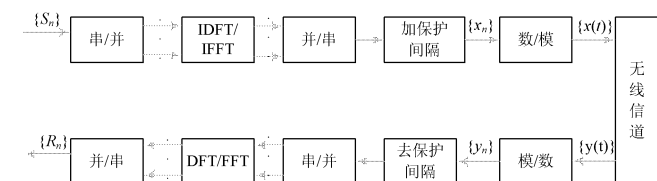


图 2 加入保护间隔, 利用 IDFT/DFT 实施的 OFDM 系统框图

图 2 中为正确反映 OFDM 符号, 需 pN_c 个 IDFT/DFT 点数, 即在原来 N_c 个采样点间添加零值点。在 OFDM 符号中插入大于最大时延扩展 T_m 的保护间隔以最大限度地消除子信道中符号间干扰 (ISI)。但破坏了子载波的正交性, 多径分量会产生子信道间干扰 (ICI), 则需在保护间隔内填入循环前缀信号。尽管如此, OFDM 也存在峰值平均功率比 (PAR) 较高, 对载波偏移敏感, 精确定时同步难等缺点, 需采用相应的技术解决。

2.2 Pre-Rake 技术

传统 RAKE 接收机将多径延迟 (T_1) 超过一个码片的持续时间 (T_c) 的多径信号认为是不相关的, 利用多个相关器分别检测多径信号中最强的 L 个支路信号, 然后对每个相关器输出加权合并, 以提供优于单路相关器的信号检测, 在此基础上进行解调判决。其本质是路径分集接收, 原理如图 3 所示。

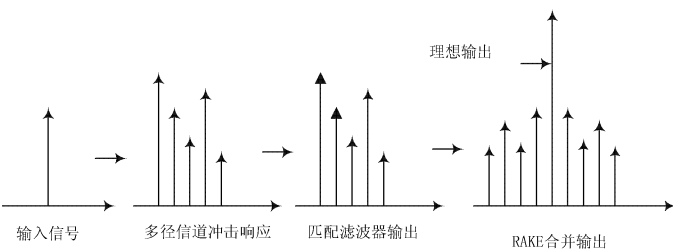


图 3 RAKE 接收机原理

Pre-Rake 技术将 Rake 合并放到基站, 这需要估计下行链路的多径信道参数。在 TDD 模式下, 利用基站估计的上行信道参数获得下行多径信道参数, 将发送端的 RAKE 多径合并, 即 Pre-Rake 技术, 接收端只需一个匹配滤波器接收并解调判决, 原理如图 4 所示。

无论对理想还是非理想正交码 Pre-Rake 都具有较优的性能, 详见文献 [1]。

2.3 MIMO 技术

MIMO 系统要求收发双端都采用多个天线或天线阵列, 系统结构框图如图 5 所示。

其技术实质是提供空间复用增益和空间分集增益。他要求信道存在丰富多径, 且时延扩展可忽略。相比于普通 SISO 系统, MIMO 系统提供的空间复用增益使信道容

量与收发天线个数成正比, 在不增加带宽和天线发送功率情况下, 频谱利用率也可成倍提高。而空间分集则提高了可靠性, 降低了误码率。如果信道丰富多径的假设不成立, 或信道存在相关性, 则信道容量减小, 特别是有直射路径存在, 信道容量锐减。为了达到或接近 MIMO 信道的容量, 出现新的编码技术——空时编码, 主要有: 空时分组码 (STBC), 空时网格码 (STTC), 分层空时码 (LST)。MIMO 是一种窄带技术, 必须结合其他技术如 OFDM, 时域均衡, 智能天线等。因此也促进了其他领域发展诸如智能天线, 编码理论, 多天线信道建模等。

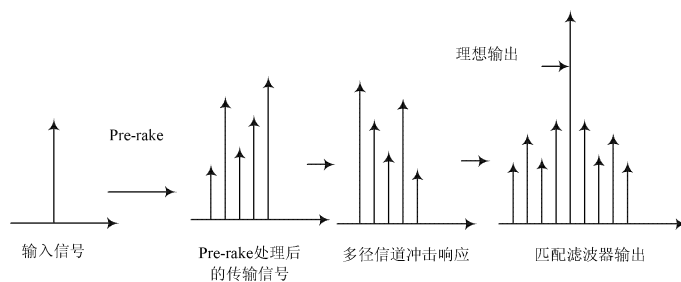


图 4 Pre-Rake 系统原理

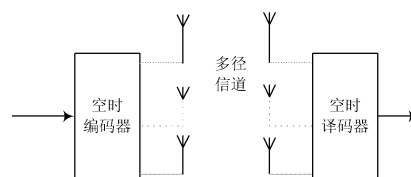


图 5 MIMO 结构

2.4 智能天线 (SA)

智能天线基本原理是: 天线以多个高增益窄波束动态地跟踪多个期望用户。接收模式下, 来自窄波束之外的信号被抑制; 在发射模式下, 能使期望用户接收的信号功率最大, 同时使窄波束照射范围以外的非期望用户受到最小干扰; 是一种空分多址方式 (SDMA) 技术, 即利用信号传播方向上的差别, 区分同频率, 同时隙信号。据波束形成方法, 智能天线分为自适应天线阵列和切换波束天线, 其技术核心包括: 波束形成算法, 如最小均方算法 (LMS), 递归最小二乘法 (RLS) 等和波达方向 (DOA) 估计算法, 如 MUSIC, ESPRIT 算法等。由于智能天线的性能随着天线阵元数目的增加而提高, 尽管在 TDD 模式下利用上下行链路互惠性, 可显著地减少复杂性, 但还是增加系统复杂度, 同时对高速移动终端的支持不是很理想。

2.5 自适应调制编码 (AMC) 技术

AMC 原理是依据信道质量, 调整信道编码和调制方式等, 以便最大限度地发送信息, 实现较高的速率, 提高频带资源的利用率。信道质量可通过信道的信噪比 (CSNR) 来确定。当信道信噪比 (CSNR) 较低时结合较强的信道编码和较低的调制阶数。信道信噪比高时采用较高的调制阶数和较弱的信道编码。目前常用的两类 AMC 算法: 探

索(heuristic) 类和基于信道估计的自适应算法。前者由于效率低, 不能完全适应信道的变化, 在移动通信领域的应用前景不大。后者研究较多的是瑞利衰落下的信道估计, 常采用图 6 模型。

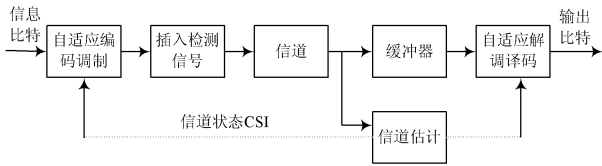


图 6 ACM 系统模型

图 6 中, ACM 系统发送端根据估算法算的 CSI, 确定调制和编码。周期性插入检测信号以便信道估计。发送端接收的 CSI 是 t 时刻的信道状态估计, 由于信道是时变的, 此时信道所处的时刻应是 $t + \tau$, τ 是反馈时延与估算法的运算时间。若 τ 时间内信道变化太大, 会严重影响误码率(BER)。TDD 模式下利用信道互惠性可一定程度减小 τ 。

2.6 IPv6 技术

未来移动通信系统核心网是全 IP 网络, 核心协议采用 IPv6。IPv6 有丰富地址空间, 更好地支持移动 IP, 自动控制, 较高服务质量等。此外, 采用 IPv6 可实现不同网络间的无缝连接, 核心网独立于各种具体的无线接入方案, 能提供端到端的 IP 业务, 能同已有的核心网和 PSTN 网兼容。但在支持业务方面还需要解决一些关键问题, 如: 业务质量、业务安全、用户的标识与认证、用户的状态及定位等。

2.7 Ad hoc 网络体制与蜂窝结合

Ad hoc 网络具有无中心、自组织、自由移动的特点。以 Ad hoc 网络为核心的移动通信系统可以满足用户对大容量, 高带宽, 无缝漫游的需求。由于 Ad hoc 网络本身的缺点如安全性不高, 纯 Ad hoc 网络中结点间传输报文的传发次数高等, 而传统蜂窝系统存在 RNC 或 BSC 单点失效的隐患, 有些学者提议将移动蜂窝网络末端的扩展用 Ad hoc 实现, 以此组成多跳网络, 如图 7 所示。

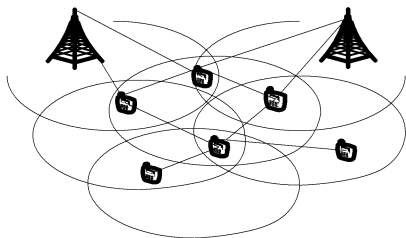


图 7 多跳蜂窝网络结构

多跳蜂窝网相比于传统的蜂窝系统有很大的优势如: 扩大蜂窝系统覆盖范围, 均衡相邻小区业务, 提高小区边缘数据速率, 减少基站数量, 降低基站和移动终端的发射功率, 移动终端可以建立连接, 多个分组报文可同时传输,

提高系统容量等。

2.8 TD-LAS-CDMA 技术

LAS-CDMA 技术特点在于使用了一种称为 LAS 编码的扩频编码, 通过减少系统产生的干扰来增加系统容量。LAS 编码由 LA 码和 LS 码两级编码组成。目前 CDMA 系统所用的码具有较强的自干扰和互干扰, 导致系统存在严重的局限性, 如: 符号间干扰(ISI), 多址干扰(MAI), 相邻小区的干扰(ACI)。而 LAS-CDMA 是一个智能扩频码, 具有强大的零干扰特性, 极大地改善了这些限制, 提高了系统容量。特别是当 LAS-CDMA 与 TDD 模式相结合时, 具有其他同类系统无法比拟的优势, 如: 降低系统成本, 将传送环境从干扰受限变为噪音受限, 很好地支持向全 IP 核心网演进, 使用硬切换节省系统资源。

3 展望

下一代移动通信系统要求高带宽、低成本、高移动性、无线 QoS 资源控制、支持多种 QoS 需求、面向分组、支持不对称业务, 覆盖区域广及在不同系统可以无缝漫游等。由于 TDD 系统各种优点, 必将成为下一代移动通信系统的首选, 同时也要求一系列新技术, 如软件无线电, 动态无线资源管理, 空时处理技术等, 也有学者提出将 MIMO、OFDM 与 OTDM, SA(正交时分复用、智能天线) 互相结合, 以便在室内外都获得较高的传输速率。

参考文献

[1] Gesbert D, Shafi M, Dr shan Shiu, *et al.* A. From Theory to Practice: An Overview of MIMO Space-time Coded Wireless Systems[J]. Selected Areas in Communications, IEEE Journal, 2003, 21(3) .
[2] 张帆. 一种集成 Ad Hoc 与蜂窝的 4G 新型网络(IACG) [J]. 无线通信, 2005, 14(1) : 9-12.
[3] 王金龙, 王呈贵, 吴启晖, 等. Ad Hoc 移动无线网络[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
[4] Yang Xiaoa, Yue Song, Habermann J. Pre rake Diversity Combining for TD-SCDMA Base Stations[J]. TENCON 2004, 2004 IEEE Region 10 Conference Volume B, Nov. 2004: 21-24.
[5] Oien G E, Holm H, Hole K J. Impact of Channel Prediction on Adaptive Coded Modulation Performance in Rayleigh Fading. Vehicular Technology[J]. IEEE Transactions, 2004, 53(3) .
[6] 谢显中. 基于 TDD 的第四代移动通信技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
[7] Liu Guangyi, Zhang Jianhua, Zhang Ping. Further Vision on TD-SCDMA Evolution. Communications[J]. 2005 Asia Pacific Conference, 2005: 3-5.